

SURVEI TIGA DIMENSI TUGU PAHLAWAN METODE TERRESTRIAL LASER SCANNING UNTUK VISUALISASI DAN ANALISA KETINGGIAN BANGUNAN (Studi Kasus : Tugu Pahlawan, Surabaya, Jawa Timur)

**3D VISUALIZATION OF CULTURAL HERITAGE USING TERRESTRIAL LASER SCANNER
(A Case Study : Monument of Heroes, Surabaya, East Java)**

Cherie Bhukti Pribadi¹, Hepi Hapsari Handayani¹, Firdiansyah Eka Rachmawan¹,

¹Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Email: cherie_b@geodesy.its.ac.id

Abstrak

Subjek penelitian yang dilaporkan adalah visualisasi tiga dimensi (3D) permukaan model dalam survei pemetaan tiga dimensi menggunakan terrestrial laser scanning (TLS). Tugu Pahlawan yang berlokasi di pusat Kota Surabaya dekat kantor Gubernur Jawa Timur ini terpilih sebagai objek penelitian. Instrumen teknologi laser yang digunakan sebagai pembanding adalah Geomax Zoom 300 (Terrestrial Laser Scanner) dan Gowin TKS-202 (*Electronic Total Station*) serta GPS Geodetik untuk pengukuran acuan koordinat dan ketinggian Tugu Pahlawan yang bergeoreferensi. Koordinat hasil pengukuran *Electronic Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner* kemudian diubah menjadi koordinat global (UTM) menggunakan proses georeferensi hasil pengukuran GPS Geodetik. Koordinat, diameter dan ketinggian Tugu Pahlawan dihitung untuk setiap model. Uji statistik kemudian digunakan sebagai validasi data *terrestrial laser scanner* dengan *electronic total station*. Dengan interval kepercayaan 90% pada uji statistik, 80% diantaranya masuk kedalam interval kepercayaan. Tinggi Tugu Pahlawan menurut data arsip adalah 41,448 m, berbeda dengan hasil pengukuran *Total Station* adalah 41,144 m sedangkan hasil TLS adalah 41,447 m. Hasil uji statistik ketinggian disimpulkan bahwa ketinggian TLS berada diluar interval kepercayaan. Diharapkan pada masa depan, 3D seperti visualisasi model permukaan dapat digunakan untuk dokumentasi, pelestarian dan rekonstruksi bangunan cagar budaya (cultural heritage).

Kata Kunci: Cagar Budaya, Model 3 Dimensi, *Laser Scanner*, Tinggi Bangunan, Visualisasi.

Abstract

Research subjects reported was the visualization of three-dimensional (3D) surface models in three-dimensional mapping survey using terrestrial laser scanning (TLS). Tugu Pahlawan (Heroes Monument), located in Surabaya city center near the office of the Governor of East Java was chosen as the research object. Laser technology instruments used for comparison is GeoMax Zoom 300 (Terrestrial Laser Scanner) and Gowin TKS-202 (Electronic Total Station) as well as for geodetic GPS coordinates and altitude reference measurement Heroes Monument are georeferenced. Coordinate measurement results Electronic Total Station and Terrestrial Laser Scanner are then converted into global coordinates (UTM) using georeferencing process from Geodetic GPS measurement results. Coordinates, diameter and height of Tugu Pahlawan calculated for each model. Statistical test is used as data validation terrestrial laser scanner with electronic total station. With 90% confidence interval on statistical tests, 80% of them into confidence intervals. Height of Tugu Pahlawan according to archived data is 41.448 m, in contrast with the results of measurements from Total Station is 41.144 m, while the results of TLS is 41.447 m. Statistical test results concluded that the height of heights TLS is outside the confidence interval. Expected in the future, such as the visualization of 3D surface models can be used for documentation, preservation and reconstruction of cultural heritage.

Keywords: Cultural Heritage, 3-Dimensional Model, Laser Scanners, Building Height, Visualization.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Teknologi *laser scanning* adalah salah satu teknik terbaru untuk melakukan pekerjaan survei tiga dimensi. Kelebihan dari teknologi ini adalah hal tersebut dirancang untuk melakukan akuisisi tiga dimensi (3D). Model 3 dimensi ini memungkinkan untuk mengakses banyak data geometris dan visual yang diperlukan. Dengan demikian, penggunaan TLS telah meningkat pesat dan saat ini telah diterapkan di banyak bidang seperti mendokumentasikan warisan budaya, pengukuran deformasi, aplikasi perencanaan, kontrol kualitas, produksi *prototype*, analisis tempat kejadian perkara dan industri pembuatan film.

Tugu Pahlawan merupakan salah satu bangunan cagar budaya di Surabaya. Monumen ini berada di tengah-tengah kota di Jalan Pahlawan Surabaya, dekat dengan Kantor Gubernur Jawa Timur. Tugu Pahlawan merupakan salah satu ikon Kota Surabaya sebagai Kota Pahlawan. Berdiri di atas tanah lapang seluas 1,3 hektar, dan secara administratif berada di wilayah Kelurahan Alun-Alun Contong, Kecamatan Bubutan, Kota Surabaya. Tugu Pahlawan dahulu merupakan Kantor Raad Van Justitie atau Gedung Pengadilan Tinggi pada masa penjajahan Belanda. Gedung ini pada akhirnya runtuh saat gempa bumi di Surabaya.

Penggunaan metode alternatif yang relatif murah untuk melakukan pemodelan suatu bangunan, yakni dengan teknologi *Close Range Photogrammetry* (CRP) atau Fotogrametri Rentang Dekat, dengan memanfaatkan kamera *Digital Single Lens Reflex* (DSLR). Dalam teknik CRP, kualitas proses penentuan koordinat dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembidikan ke objek secara konvergen dari kamera agar diperoleh ukuran lebih. Teknik ini mempunyai kelebihan terutama jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau dan atau memiliki dimensi yang kecil (Handayani H.H. et.al., 2015). Dengan aplikasi lain yaitu dalam penentuan volume suatu bidang (Mulia, D, Handayani, H.H., 2014).

Laser Scanning menawarkan metode yang sangat efektif untuk mengumpulkan titik dalam jumlah yang besar dengan tepat. Sehingga dengan resolusi tinggi dalam *point clouds* dengan

informasi 3D ini sangat cocok untuk aplikasi inventarisasi data 3D. Tidak seperti teknik survei tradisional yang mengumpulkan ratusan titik data diskrit selama beberapa hari, pencitraan laser mampu menangkap beberapa juta 3D point clouds hanya dalam beberapa menit (Lichti et al., 2002).

Beberapa pencitraan dapat melengkapi cakupan yang lengkap dari objek, deformasi permukaan, jembatan, bangunan dengan detail rumit, dan struktur lainnya. Sistem *laser scanning* yang tersedia di pasar saat ini sudah menjadi teknologi yang praktis, dengan sebagian besar kesulitan teknis perangkat keras dan masalah integrasi sistem telah terpecahkan. Sistem ini, menjadi lebih 'geodesi' yang sangat kompleks pada bagian akuisisi data dan lebih 'fotogrametri' pada bagian pengolahan data. Pengembangan algoritma dan metode untuk interpretasi serta pemodelan data laser scanner begitu pesat, sehingga representasi dapat berguna untuk suatu tampilan dalam 3D.

METODOLOGI PENELITIAN

Data Dan Peralatan

- **Data**
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 1. Data spesifikasi *Terrestrial Laser Scanner GEOMAX ZOOM300*.
 2. Data ukuran geometris bangunan Tugu Pahlawan.
- **Peralatan**
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 1. Perangkat Keras
 - *Terrestrial Laser Scanner GEOMAX ZOOM 300*
 - *Electronic Total Station (ETS)*
 - Penggaris atau pita ukur
 - *Tribrach*
 - Statif
 - *Laptop*.
 2. Perangkat Lunak
 - *Software CloudCompare (Open Source)*.
 - *Software pengolahan 3D Modelling*.

Metode Penelitian

Penelitian ini perbandingan dengan posisi titik model permukaan 3D dari Tugu Pahlawan yang diperoleh dengan menggunakan instrumen teknologi *Geomax Zoom 300 (Terrestrial Laser Scanner)* dan *Gowin TKS-202 (Electronic Total Station)*. Analisis dilakukan dari hasil visualisasi model 3D dan perbedaan jarak spasial dan tinggi bangunan yang dihasilkan oleh masing-masing instrumen.

a. Metode *Terrestrial Laser Scanning*

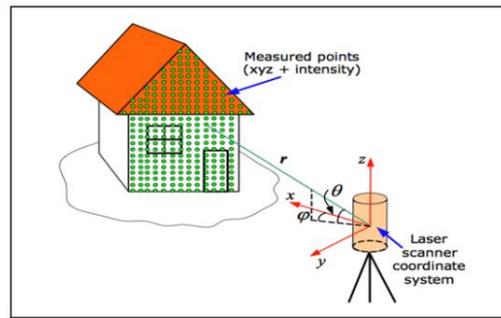
Sistem *Terrestrial Laser Scanning* telah tersedia selama sepuluh tahun dan dalam lima tahun terakhir *laser scanning* telah diterima sebagai metode standar untuk pengambilan akuisisi data dalam 3D, sejajar dengan samping metode yang sudah ada seperti *tacheometry*, fotogrametri dan *GPS*. Secara khusus, dokumentasi yang terbangun pada industri sistem *Terrestrial Laser Scanning* memainkan peran penting karena ketersediaan pertama mereka sebagai sistem komersial [8].

Terrestrial Laser Scanner dapat diputar 360° pada arah horisontal dan 270° pada arah vertikal. Seperti halnya pada *Electronic Total Station*, pada *Laser Scanner* pun memiliki suatu lingkaran horisontal dan vertikal yang digunakan untuk mengukur sudut vertikal dan horisontal agar diperoleh koordinat 3D suatu titik.

Data baku (*RAW*) yang diamati TLS adalah: rentang (*r*), arah horisontal (ϕ) dan sudut vertikal (θ). Banyak scanner juga merekam intensitas sinyal laser yang tercermin pada setiap titik. Dengan pemindaian dapat memperoleh mengumpulkan titik sampel yang teratur (*point clouds*), yang mungkin berisi beberapa ribu titik. *Point clouds* adalah kumpulan koordinat XYZ dalam sistem referensi umum yang menggambarkan distribusi spasial subjek atau situs.

Hubungan antara hasil *raw* (*r*, ϕ , θ) dan koordinat (*x*, *y*, *z*) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$X_i = \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j \cos \phi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \phi_j \sin \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix}$$

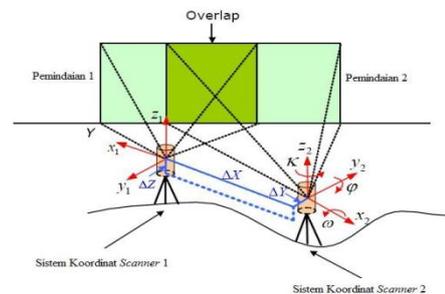


Gambar 1. Prinsip TLS dan pengamatan Laser Scanner (Reshetyuk)

Dimana *r_j*, ϕ_j dan θ_j adalah rentang, arah horisontal dan sudut vertikal. *Point clouds* yang dihasilkan pada tiap pemindaian, mengacu pada sistem koordinat internal yang direferensikan terhadap alat.

b. Registrasi, Georeferensi dan Filterisasi

Perlu dilakukan suatu proses untuk mendapatkan representasi hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek, yang dalam prosesnya melakukan proses transformasi pada hasil pemindaian objek ke dalam suatu sistem koordinat, tahapan ini disebut registrasi.



Gambar 2. Registrasi dua point clouds hasil pemindaian (Reshetyuk)

Parameter transformasi yang berupa 3 translasi dan 3 sumbu koordinat (ΔX , ΔY , ΔZ) serta 3 rotasi yang mengelilingi 3 sumbu koordinat (ω , ϕ , κ) disebut parameter transformasi *rigidbody* (yaitu tidak ada faktor skala). Transformasi ini juga disebut transformasi 3D Helmert tanpa faktor skala. Agar mampu mengintegrasikan data TLS menjadi data geospasial, *point clouds* yang teregistrasi dari seluruh objek harus diubah menjadi sistem geodetik koordinat (lokal atau nasional). Prosedur ini disebut georeferensi. Proses *filtering* bertujuan untuk membuang titik yang tidak diperlukan dari *point clouds*. Prinsip

penghilangan *noise* lainnya adalah dengan menggerakkan titik sedikit untuk mendapatkan kehalusan permukaan yang optimal. Algoritma ini mencoba untuk mencocokkan bidang secara lokal terhadap titik di *point clouds*. Ketika titik pusat berada sangat jauh dari bidang yang dicocokkan, titik pusat dipindahkan ke arah bidang sehingga memberikan konsistensi bagi tetangganya (Quintero, 2008).

3. Terrestrial Laser Scanner Geomax Zoom300



Gambar 3. Terrestrial Laser Scanner Geomax Zoom 300 (geomax-positioning.com)

Geomax Zoom300 merupakan instrumen dari Terrestrial Laser Scanner (TLS) yang memiliki kemampuan untuk dapat mengukur titik rata-rata 40,000 titik per detik. serta juga dilengkapi dengan dua kamera otomatis 5 megapixel, yang dapat menyajikan informasi warna yang detail dari suatu objek tanpa adanya perubahan posisi pengamatan. Geomax Zoom300 dilengkapi dengan sensor otomatis yang membantu dalam melakukan proses registrasi data dan tampilan layar sentuh yang mudah dipahami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan GPS

Pengamatan GPS pada penelitian ini bertujuan dalam penentuan posisi *benchmark* (BM) yang digunakan untuk pembuatan kerangka kontrol. Pengukuran lapangan ini membutuhkan alat *GPS Geodetic* dan Data *GPS* kemudian diolah menggunakan *software Topcon Tools*. Berikut adalah hasil pengukurannya :

Tabel 1. Data Koordinat GPS

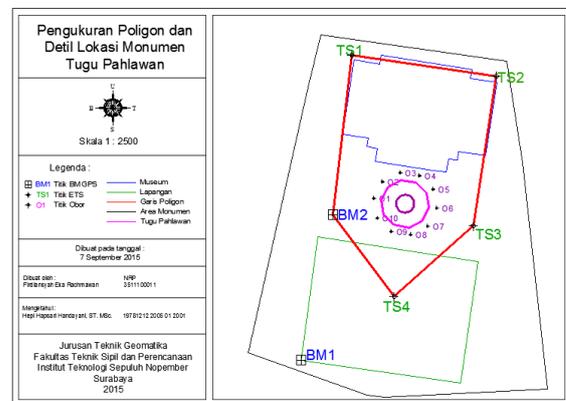
Nama	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
P0 (Base)	9198629,768	691820,565	33,698
P2 (Rover)	9198701,376	691836,165	34,477

Pengukuran Kerangka Kontrol

Kerangka kontrol pada penelitian ini digunakan dalam pengukuran titik kontrol pada objek. Alat yang digunakan dalam pengukuran kerangka kontrol adalah *Total Station* Hasil dari pengamatan GPS digunakan sebagai titik ikat dalam perhitungan.

Tabel 2. Data Koordinat Kerangka Kontrol

Nama	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
P1	9198661,014	691866,154	33,458
P3	9198715,093	691758,578	33,809
P4	9198644,426	691748,042	33,820
P5	9198633,909	691821,659	34,388

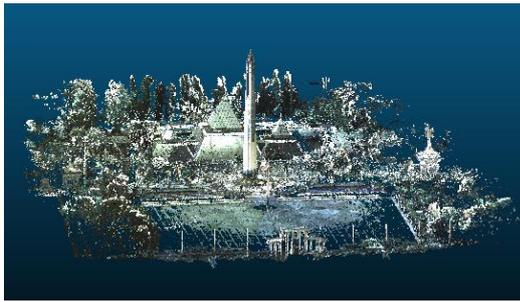


Gambar 4. Peta Bentuk Kerangka Kontrol

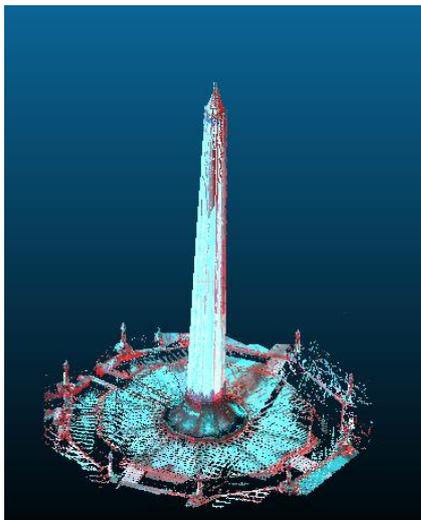
Pengukuran Terrestrial Laser Scanning

Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa pengukuran memiliki durasi 4 menit 10 detik untuk setiap titiknya selama 6 kali berdiri alat dengan total menghasilkan 8.244.103 titik *point clouds*. Pada pengukuran ini menghasilkan jarak grid yang kurang rapat yaitu 7,85 cm tiap berdiri alat 50 m, sehingga banyak *spot* yang kosong dalam pengukuran untuk jarak yang melebihi rentang tersebut.

Proses *filtering* bertujuan untuk membuang titik yang tidak diperlukan dari data *point clouds*. Proses ini dilakukan secara manual menggunakan *software pengolahan data 3D*, berikut adalah contoh sebelum dan sesudah proses *filtering* untuk data Tugu Pahlawan.

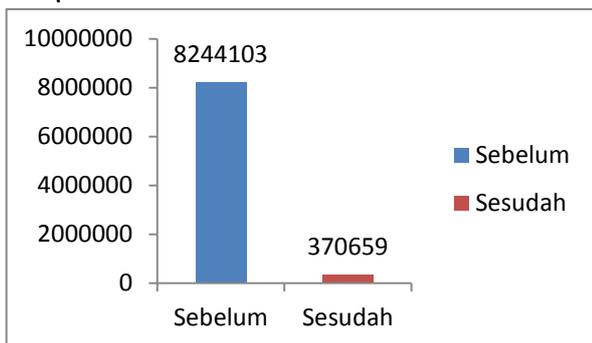


Gambar 5. Point Clouds Tugu Pahlawan Sebelum Proses Filtering



Gambar 6. Point Clouds Tugu Pahlawan Setelah Proses Filtering

Jumlah titik dalam *point clouds* Tugu Pahlawan mengalami penurunan hingga 90%, yaitu dari 8.244.103 titik menjadi hanya 370.659 titik.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Jumlah Point Clouds Sebelum dan Sesudah Filtering

Pada bagian analisa ini digunakan perbandingan koordinat *GCP* dari hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* terhadap *Total Station*. Dalam analisa koordinat menggunakan metode uji statistik.

Dari hasil rentang maka dapat menghasilkan rentang atas (μ_0+c) dan rentang bawah (μ_0-c). Kemudian hasil tersebut dapat didistribusikan pada koordinat *TS*.

Tabel 3. Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada X, Y dan Z

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)
ICP1	691856,062	691856,371	691857,049
ICP2	691860,237	691860,546	691860,373
ICP3	691868,915	691869,224	691869,144
ICP4	691878,357	691878,666	691878,854
ICP5	691885,043	691885,352	691885,221
ICP6	691886,818	691887,127	691886,957
ICP7	691882,390	691882,699	691882,600
ICP8	691873,982	691874,291	691874,113
ICP9	691864,508	691864,817	691864,716
ICP10	691857,680	691857,989	691857,870

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)
ICP1	9198749,865	9198750,286	9198750,83
ICP2	9198749,737	9198750,158	9198749,43
ICP3	9198709,853	9198710,274	9198710,12
ICP4	9199869,791	9199870,212	9199870,01
ICP5	9198709,812	9198710,233	9198710,04
ICP6	9198719,777	9198720,198	9198719,86
ICP7	9198719,852	9198720,273	9198720,13
ICP8	9198689,766	9198690,187	9198689,95
ICP9	9198689,805	9198690,226	9198690,17
ICP10	9199869,852	9199870,273	9199870,12

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)
ICP1	48,079	48,317	47,766
ICP2	39,823	40,061	39,887
ICP3	73,625	73,862	73,102
ICP4	36,184	36,421	36,278
ICP5	36,170	36,407	36,355
ICP6	36,058	36,296	36,233
ICP7	36,120	36,357	36,182
ICP8	36,208	36,445	36,350
ICP9	36,264	36,502	36,380
ICP10	36,170	36,408	36,236

Secara keseluruhan, terdapat 24 koordinat *TLS* yang diterima atau sebesar 80%. Hal ini menandakan pengukuran *TLS* memiliki hasil yang baik, di mana memberikan hasil di atas 70%.

Pada bagian analisa diametrik digunakan perbandingan diameter atas maupun diameter bawah objek hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* dan *ETS*. Diketahui diameter atas dan diameter bawah Tugu Pahlawan masing-masing sebesar 3,1 m dan 1,3 m.

Tabel 4. Hasil Uji Statistik Diameter Tugu Pahlawan

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)	ETS (m)
D _{atas}	3,0984	3,1015	3,10032	3,1014
D _{bawah}	1,2961	1,3038	1,3026	1,30032

Dalam analisa ketinggian juga menggunakan metode Uji Statistik. Ketinggian yang dianggap benar adalah data ketinggian Tugu Pahlawan dari data Arsip UPT Tugu Pahlawan dan Museum Sepuluh Nopember Surabaya.

Tabel 5. Hasil Uji Statistik Ketinggian Tugu Pahlawan

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)	ETS (m)
H TP	41,145	41,150	41,144	41,147

Berdasarkan tabel 5 di atas terlihat bahwa tinggi hasil pengukuran *ETS* berada di antara interval kepercayaan. Tinggi hasil pengukuran *TLS* berada di luar interval. Sehingga dari hasil uji statistik disimpulkan bahwa hasil pengukuran ketinggian menggunakan *ETS* diterima sedangkan hasil pengukuran ketinggian *TLS* tidak diterima.

PENUTUP

Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa pengukuran mengalami beberapa hambatan. Pada pengukuran ini menghasilkan jarak grid yang kurang rapat yaitu 7,85 cm untuk rentang berdiri alat per 50 m, sehingga banyak *spot* yang kosong (*blank spot*) dalam pengukuran untuk jarak yang melebihi rentang.

Analisa 10 koordinat *Independent Check Point (ICP)* menggunakan uji statistik dengan tingkat kepercayaan 90%, hasil yang diperoleh bahwa dari total koordinat X,Y dan Z sejumlah 30 koordinat didapat 24 titik koordinat *TLS* masih berada di dalam rentang interval kepercayaan (*region of acceptance*) dan 6 titik diantaranya ditolak, karena berada di luar interval. Hasil

tersebut menunjukkan bahwa pengukuran memenuhi toleransi dikarenakan hasil diatas 80% menurut uji statistik.

Hasil ketinggian *Terrestrial Laser Scanner* didapat dari perhitungan selisih elevasi pada dua titik hasil *TLS* yang sebesar 41,144 m dan dibandingkan dengan hasil elevasi yang didapatkan oleh *ETS* sebesar 41,147 m. Dengan dilakukan uji statistika menggunakan acuan tinggi menurut arsip data UPT Tugu Pahlawan Kota Surabaya yaitu 41,148 m, hasilnya titik koordinat *ETS* masih berada di dalam rentang interval kepercayaan (*region of acceptance*) sedangkan *TLS* masih berada diluar rentang, karena berada di luar interval yang berarti pengukuran ketinggian tidak diterima.

DAFTAR PUSTAKA

- Handayani, H.H., Yuwono, Taufik.M., 2015, *Preliminary Study of Bridge Deformation Monitoring Using GPS and CRP (Case Study: Suramadu Bridge)*, Procedia Environmental Sciences Vol.24 pp.266-276, Elsevier.
- Lichti, D., Gordon, S., and Stewart, M., 2002, *Ground-based laser scanners: Operation, systems and applications*. Geomatica, Vol. 56, No. 1, pp. 21–33.
- Mulia, D., Handayani H.H., 2014, Studi Fotogrametri Jarak Dekat dalam Pemodelan 3D dan Analisis Volume Objek, Jurnal Geoid Vol.10 No.1 hal.32-39.
- Quintero, M. S., Genechten, B. V., Bruyne, M. D., Ronald, P., Hankar, M., Barnes, S. (2008). *Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning*. The Learning Tools for Advanced Three-dimensional Surveying in Risk Awareness Project (3D Risk Mapping).